

以排水方法穩定梨山地區的地層滑動

詹連昌¹、蘇苗彬²

¹ 行政院農委會水土保持局第二工程所所長;

² 國立中興大學土木工程學系教授

摘要

梨山地滑區為過去曾發生大規模地盤滑動所形成之地區，其地質主要是由崩積層及破碎板岩所組成，主要地滑區可分成西、東南及東北三個區域，每個地滑區並由數個上下相關連之滑動體所構成，滑動體呈角形或馬蹄形，其長寬近百公尺或數百公尺，滑動面深度在地表下30~60公尺內，屬於大面積之深層地盤滑動。由調查與監測結果發現，其上方覆蓋之崩積層及風化板岩層透水性佳，地表水易入滲而使地下水位上升，降低邊坡之穩定性，因此降雨時引起地下水位上升，推測為造成本區地滑災害的主要誘因。目前之整治方式為施以地表排水、橫向集水管、集水井、排水廊道等整治工程。本文針對現況及施工整治成果進行檢討與評估，並配合相關之研究成果來評定使用工程方法的成效，並提供作為訂立地滑管理準則的依據。

關鍵字 梨山、地滑地、工程處理、地下排水工法

一、現場概況

梨山地滑區位於中橫公路主幹線(省道台 8 線)與宜蘭支線(省道台七甲線)交會點之梨山，行政上隸屬於台中線和平鄉梨山村所轄。中橫公路主幹線西起台中縣東勢鎮，經德基水庫，東行至梨山，長 82km，爾後，公路即分岐為二：主幹線自梨山續向東爬昇翻越大禹嶺可抵花蓮，長 137km；支線折向東北，經思源埡口可達宜蘭，長 112km，此兩線均為柏油路面，係貫穿台灣東西向之公路交通要道，對於梨山附近山區居民之

對外聯絡與農產品運輸、旅遊觀光事業發展等，扮演著相當重要之角色。民國 79 年 4 月中旬，由於連續降雨致使宜蘭支線 73k+150 處，約有 60m 長的路基發生滑落，梨山與宜蘭間之交通亦隨告中斷。國民旅舍、梨山賓館等建物亦嚴重受損，水土保持局自 84 年初起開始進行坡地災害整治計畫，至今已大致依原規劃完成相關工作。

本區就土地利用而言，旱地、灌溉用地加上生產種地佔 52.3%，皆為超限利用之農地，林地面積僅佔 19.9%，其餘為建物、道路、荒地、與墓地。梨山地區年平均雨量為 2,340mm(民國 55 至 89 年)(台灣電力公司，1990)，降雨多集中於 5~9 月，佔全年雨量之 64%，其中以 6 月份之平均雨量達 409mm 為最多，自 11 月至翌年 2 月為乾季，雨量僅及年雨量之 18%，故春夏雨量豐沛，秋冬季雨量較少。

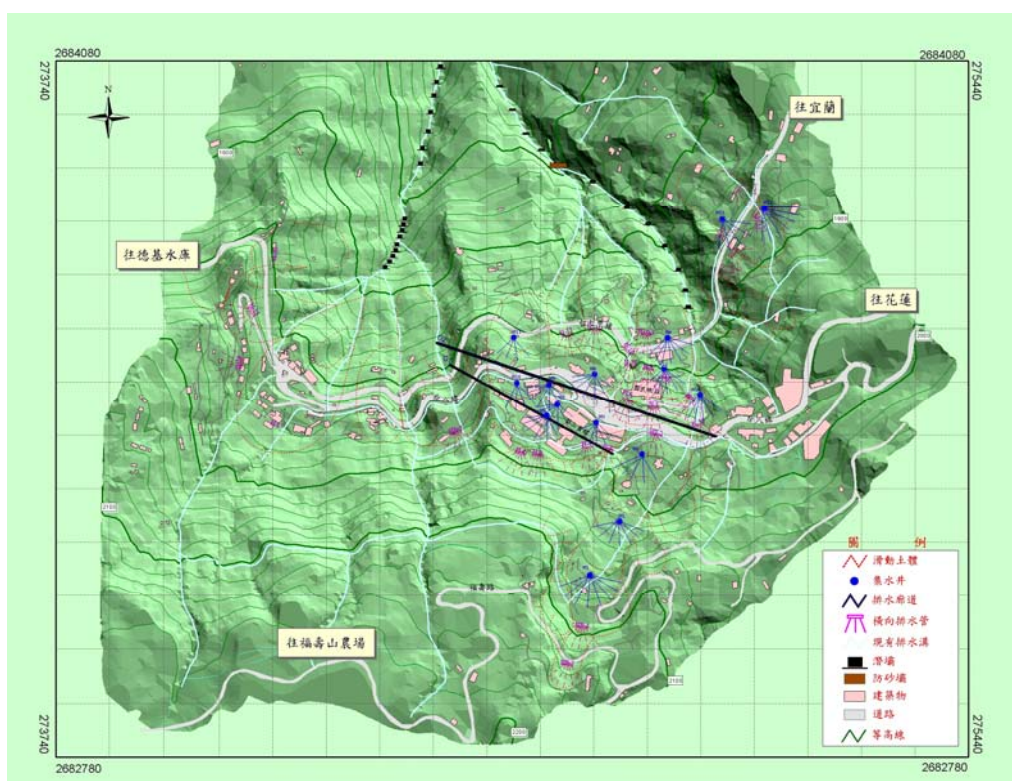


圖 1 梨山分區滑動土體制理工程圖

二、地形與地質

梨山地滑地區之一般地勢由南向北遞降，終而沒入德基水庫，大甲溪由東向西流經調查區之北緣，沿大甲溪兩岸常有呈東北—西南走向，坡度約為 15° 至 30° 之山脊，相互交錯排列。本區內有兩條主要溪流，分別匯集西區集水區(梨山小築附近)與東南區集水區(梨山賓館至榮民醫院附近)的水，並在調查區中央偏北處匯合後向北流入大甲溪。依河流切割之侵蝕型態，尚屬壯年期之河谷地形，下切作用顯著，河谷兩

岸靠近河床之坡面，偶有岩盤裸露且坡度亦較陡，約 30° 至 50° ，但在河谷上部接近山脊處，偶顯露老年期地形特徵，留有侵蝕或沉積的遺跡，山腰則佈著起伏大大小小滑動土體，呈標準的地滑地形[1]。

本調查區位於中央山脈地質區之脊樑山脈西側邊緣附近，出露之地層屬於中新世廬山層，在標準地點(南投縣仁愛鄉東側的廬山溫泉)的廬山層主要由黑色至深灰色板岩(Slate)、千枚岩(Phyllite)、硬頁岩(Argillite)、及深灰色硬砂岩互層所組成，偶有零星散佈之泥灰岩團塊，劈理結構相當發達。但在區內出露之岩層僅板岩一種，其地層一般呈 $N15^{\circ}\sim 45^{\circ} E$ 走向，向東南傾斜 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，板岩區內常見到新鮮的露頭，在河谷處之層面及劈理的傾斜角度近乎垂直，但在稜線或山坡上則略轉平緩，此一現象可能是因岩性軟弱及河谷解壓，造成邊坡頂部岩層潛移翻倒所致。本地層滑動區內，覆蓋於新鮮岩盤上之滑動層，主要係由風化板岩塊與板岩屑，夾雜黏土質土壤所構成，組織不甚緊密，粒度分佈不均，膠結差，強度低，透水性極高，是屬於風化岩地滑。

三、調查與分析

全程調查與分析工作包含多個項目[1]，分別說明如下：

3.1 測量

梨山地滑調查之測量工作，始於 80 年 3 月，全部工程可分三階段：第一階段為全區 1/1000 比例尺地形測繪，共計完成測繪面積 230 公頃，已於 80 年 7 月完成，並供作其他各項調查之底圖；第二階段為地表觀測樁埋設，共計埋設地表位移觀測樁 135 支，水準觀測點 100 點，並已完成初始值之量測；第三階段為位移觀測，含三向度(X、Y、Z)之位移變化，並行成果之分析。

觀測作業之過程涵蓋(1)基線網測量、(2)水準高程測量、(3)位移樁觀測、(4)成果分析等。平面測量技術之應用，乃採傳統式之測量法(三角、導線及水準)。

3.2 航照判釋

所使用之航空照片，為林務局分別於民國 72 年及 77 年，以德國蔡司廠 PMKA21/23 或 A15/23 空中攝影機，實施連續垂直拍攝所得之 9"× 9"黑白照片，比例尺 1:20,000 左右。

本區之線形分析可分為兩種不同類型，其一位於本區之西側及東南端，線形呈現疏、深、長與及有方向性之特性，顯示其可能受構造控制之影響；另一佔有調查區東北之大部，其線形具密、淺、短及無方向性，顯示其較不受構造影響。

航照判釋地質資料主要包括岩石之特性及地質構造，由於岩石抗蝕性、成因，形

成之地貌亦有所差異，可作為辨識依據；地質構造包括褶曲、斷層或顯著裂隙。

3.3 整治方案規劃[2]

根據前述穩定分析結果，得知區內之主要滑動土體的安全係數 $FS=0.98\sim1.20$ ，亦有部分邊坡正處於臨界狀態或緩慢滑動中，規劃整治工程，希望完工後，使其安全係數提昇至某種程度(稱為規劃安全係數，略為 PFS)。此 PFS 因受保全對象的重要性而異，且其些微之差對於整治費用即有天壤之別的影響。

保護梨山地區住家安全，恢復台七甲公路通車是此次整治規劃最主要的工作目標，因此，本區整治工程的規劃係數至少希望能在 $1.10\sim1.20$ 以上。

綜觀以上，梨山地滑的整治，可先從排除災害誘因的雨水及地下水著手，亦即以排水工程為主，估計將區內之地下水位平均降低 8.3m 左右，即可將安全係數提昇至 1.2 左右；坍方或崩塌之處，施以抑止工及坡面保護工，以恢復台七甲線交通及防止沖蝕；另外，自德基水庫沿大甲溪支流上溯建防砂壩、潛壩、及固床工等，不但可攔截土砂及防止溪谷沖蝕，而且可藉淤積之土砂來穩定溪谷兩岸之邊坡。

3.3.1 地表排水工程

地表排水工程的目的，主要是防止雨水滲透或來自地滑區外圍的地表水流入或再滲透等，而助長或誘發地滑活動。地表排水工程確實可降低部份地下水位，但卻很難定量地由穩定分析表示出來。

根據地表滲透試驗，得知本區地表附近之最終入滲率為 $3.6\sim4.08\times10^{-3}\text{cm/sec}$ ，表示雨水或地表水相當容易滲入地下，另外，再由水質分析結果，顯示本區地下水與地表水的水質相近，表示地表水是區內地下水的補注源之一。因此，首先在梨山賓館背後陡坡頂部(調查區南側)及坡腰規劃洩溝，以攔截來自福壽山產業道路方向的地表逕流；前述陡坡坡腳，不但是一地形變化點，而且恰好位於滑動體的頭部，築構排水溝，不但可攔截部份地表逕流，亦可作為橫向集水管的外接排水溝；郵局東南的 B-11~B-13 地滑區，略呈山谷地形，易匯集地表水，故本區宜規劃地表排水溝。

3.3.2 地下排水工程

地下排水的主要目的，是在降低滑動土體內的孔隙水壓，使地滑趨於穩定。調查區內，平時雖無地表逕流，但卻處處可見到湧水或泉水，表示本區地下水相當豐富。因此，若能將此等地下水作適當的處理，則本區即可得到相當程度的穩定。以梨山這麼大規模的地滑，降低其地下水位的工法，必須要組合橫向集水管、集水井、及排水廊道等始能奏效。

1. 橫向集水管

一般而言，橫向集水管工程對於淺層與深層地下水的排水能力均佳，通常在地勢較陡或落差較大之處多採此工法。本計畫區內共規劃有 15 座橫向集水管工程，每一座橫向集水管工程設 7~9 支，長 30~60m 之集水管。

橫向集水管，係以 5° ~ 10° 之仰角，朝向含水層掘鑿鑽孔，以貫穿滑動面 5~10m 為原則，完鑽之鑽孔再插入 $\phi 50\sim 76\text{mm}$ PVC 管作為保孔管兼集(排)水管。收集地下水區段之保孔管，應加以處理成透水管。集水管之孔口，以蛇籠、混凝土或鋼框擋土牆加以保護，並於該保護設施之前設一靜水槽與排水溝相接。

2.集水井

為了要排除區域內較深層的地下水，可施以集水井。集水井以規劃於地滑頭部為原則，因水壓在頭部對地滑穩定性影響最大。根據地形與已有之鑽孔水位判釋，地下水流向，在東南地滑區內，是因由南側高處往北側低處流；在東北地滑區內，由東南流向西北，地下水面深偶在地表下 30~40m 間，因此在該兩區內共規劃直徑 3.5m 之集水井 13 座(W-1~13)，井深 20m~40m 左右。井底應高於滑動面 2m 左右。

3.排水廊道

排水廊道通常是用在處理，以集水井工程仍難於克服之深層地下水。為求安全起見，排水廊道應設於滑動面以下之穩定地層內。滑動土體 B-1 及 B-2 之西側，有較穩定之岩層露頭於地表，因此可於台七甲公路 73k+400 附近，分別自標高 1,910m 及 1,865m 處，以 0.5~1.5% 的坡度，朝東南方向挖掘斷面高約 2m，長分別為 350m(G-1)與 550m(G-2)之排水廊道。

排水廊道斷面為上部呈半圓之馬蹄形，高度 2m 左右，仰拱部分(底部)應為具有水密性之構造，必要時可設排水溝。為了安全及日後維護管理之便，排水廊道可隨地質狀況，選用鋼襯板、皺紋鋼管、木頭等不同襯砌材料，其中鋼襯板可靠性較高。木頭雖施工容易且經濟，但耐久性及強度較差，通常只用於短且斷面小之廊道。梨山地區之岩層，幾全為劈理極其發達的板岩，且所規劃的廊道均在 300m 以上，故宜採用鋼襯板。

4.排水效果檢算

欲以地下排水工程達到某規劃安全係數(PFS)，所需降低之平均地下水位(h)，可依下式先求出應減少之孔隙水壓(ΔU)後再推算之(土木施設防災工法研究會，1983)：

$$\Delta U = 1/\tan \phi \cdot [\sum T \cdot PFS - \sum (N - U) \tan \phi - c \sum L]$$

$$h = \Delta U / \sum L$$

3.4 自動監測系統

梨山地滑區自動監測系統之建立，係依據工研院「梨山地區地層滑動調查與整治方案規畫」總報告之建議，選擇滑動較顯著之滑動體設立自動監測站。自八十四年度起分四年設置 8 個站完成全區監測系統，每站埋設地表傾斜儀等儀器，以短程無線電傳送資料至控制中心，可以當作施工中的安全監測，也可以用來評定整治工程的成效。

使用之監測系統可分為四個單元：1.感應單元(Sensor unit)、2.資料蒐集記錄單元(Monitoring unit)、3.資料傳送單元(Communication unit)、4.資料顯示警報單元(Control unit)，其組成與功能見原始報告。

包括地表伸縮儀、地表傾斜儀、管內傾斜儀及壓力式水位計等，孔內傾斜儀感應器埋設深度依地質鑽探柱狀圖而定，原則上於滑動面位置附近裝設，其他設置深度則視實際情況裝設。

3.5 雨量、地下水位與地表位移的關係

依個別自動監測站所觀測到的資料，將降雨量、地下水位與地表伸縮計變動量做成圖來看三者之間的關係，以提供安全的評定及治理的成效，摘錄成果較明顯部份說明如下（摘錄自水保局第二工程所相關報告[2]）：

1.B1 監測站

B1 滑動土體在整體 B 滑動區之最西側，地勢較低，其上坡面仍有 B2、B5、B8 等連續之滑動土體。地表變形量持續穩定，921 地震時有約 2.5cm 的變形，後又漸趨穩定，其地表傾斜量亦有相當顯著的變化，至 2001 年六月，其傾斜程度又恢復至地震前的狀態，而其間之地下水位並未因此有明顯變化。到了 2000 年 8 月份碧利斯颱風影響，有較大的降雨，其地下水位亦急劇上昇，而地表傾斜儀兩個觀測軸在 2000 年 8 月份起都有了明顯的變化，應特別注意。2001 年至今地表伸縮計與傾斜計並無特殊變化，只是在 x 方向的地表傾斜隨年度呈現循環的變化，可能是受溫度變化影響。

2.B5 監測站

B5 滑動土體位於 B1 及 B4 的上坡面，內部包含了梨山地區幾個主要的構造物，有梨山賓館、車站等。在觀測期間其地下水位變化不大，只有在 921 地震期間緩慢上升約 2 公尺，再以極緩的速度下降，受地區降雨的影響較小，而地表變形量於 921

地震時，觀測到約 3mm 的變形，無後續變化。2000 年 9 月 26 日受到正下方排水廊道的抽心影響，地下水位急劇下降至監測站井底，量不到水位，顯示地下水位已排除至低於鑽井底的高程，地表伸縮有微小的變化，傾斜儀則無明顯變化。至目前地下水位仍持續維持低於井底的情形，只有少量很小的變化，地表位移亦穩定無特殊變化，地表傾斜則維持穩定。

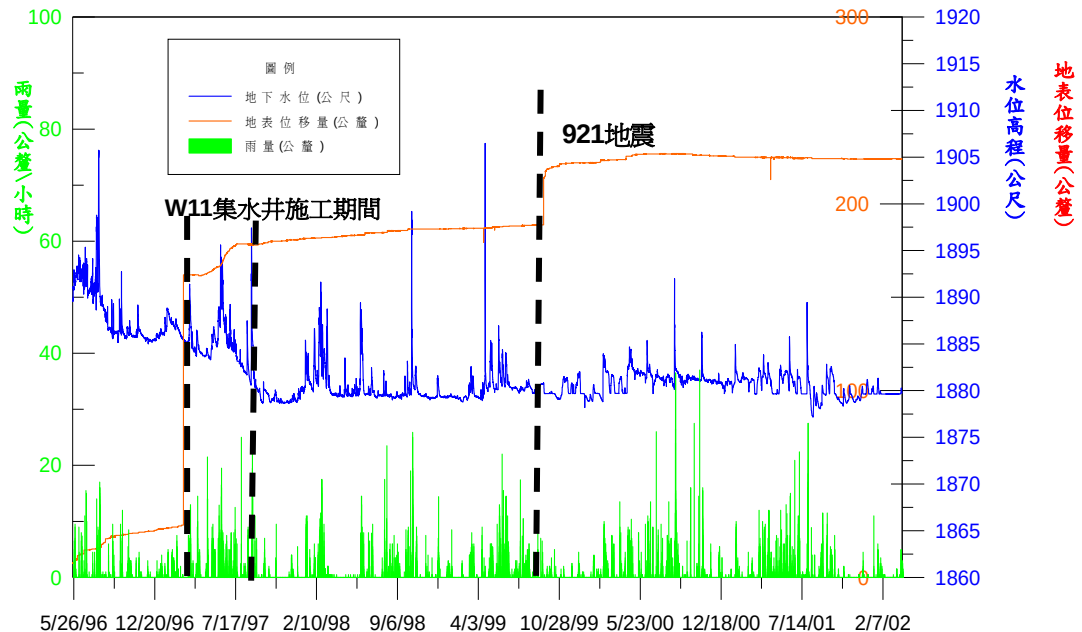


圖2 B1監測站降雨量、地下水位及地表伸縮計變動量之關係圖

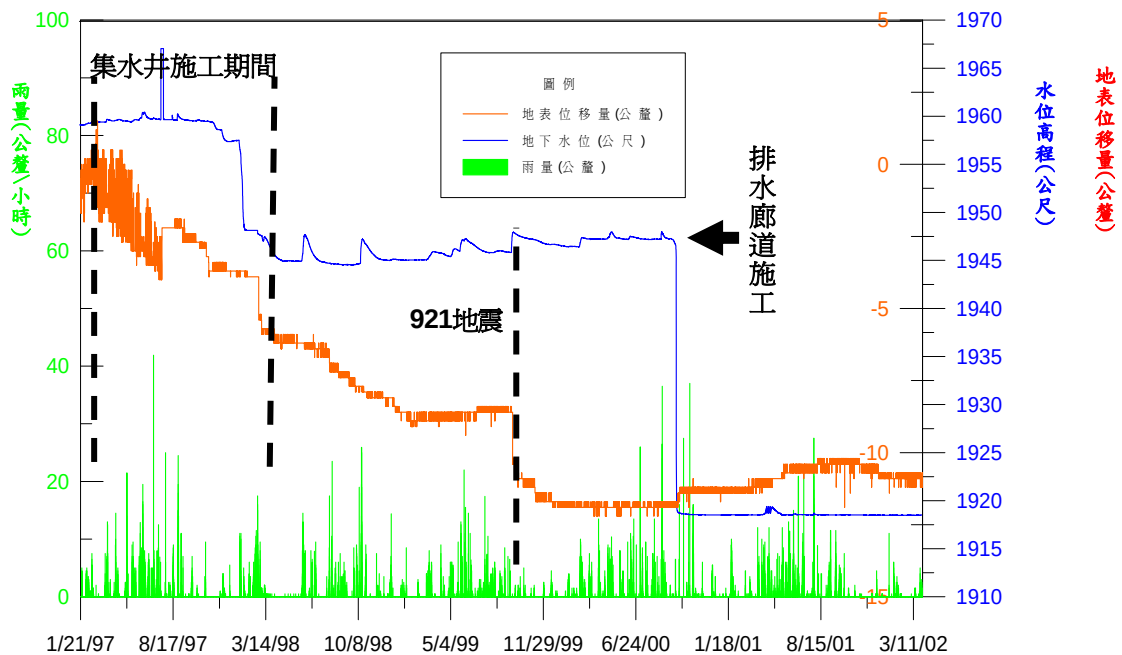


圖3 B5 監測站降雨量、地下水位及地表伸縮計變動量之關係圖

3. C1 監測站

C1 監測站位於 C 滑動土體所設唯一的監測站，於台七甲線上邊坡，因常發生公路崩壞，公路單位持續在整修中。921 地震時有超過 5mm 的變形，地表傾斜計的變化則較為複雜，在 2000 年 2 月間及 6 月間有較明顯的傾斜變化，似乎有加速之狀態。2000 年碧利絲颱風與 2001 年桃芝颱風期間並沒有造成顯著的影響，地表位移量則有持續變化。地表傾斜在 2001 年 10 月下旬有顯著變化。921 地震發生後，地下水位有逐漸下降的趨勢，到 2001 年更大幅下降了約達 10m，地表位移量也逐漸增加中，地表傾斜量大幅的增加，顯示地盤不穩定，至今稍呈穩定。

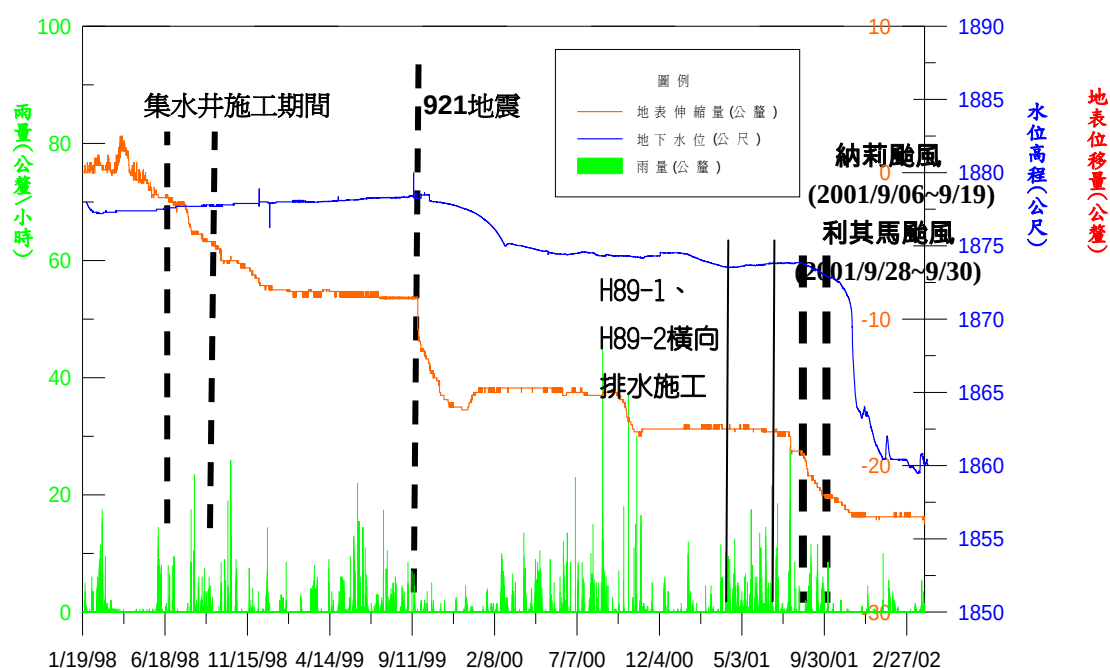


圖 4 C1 監測站降雨量、地下水位及地表伸縮計變動量之關係圖

3.6 以介入模式評估排水工程效益[3]

介入模型的形式係合併單變量 ARIMA 模型及轉換函數模型[4,5,6,7]，以估計並偵測外在因素對時間序列的影響是否顯著？若以介入模型分析間序列時，須確知：1.外在因素介入的起點(starting point)。2.外在因素介入的影響圖形(The shape of the intervention)。其結果如表 1 所示。

由於各區排水工程的施工期間並不一致，且各區之分析期距自半年自一年半不等，視各區而定。而在決定各區介入起點時，常因工程資料之不完整，或監測儀器故障的影響及降雨產生之干擾，使得介入起點之判定，不易掌握。

表 1 各滑動土體之完整介入模式

分析區域	完整介入模式
B1	$G = \frac{-0.12773}{1-0.9832B} S_t + \frac{1+0.17945B-0.17575B^2-0.14922B^3}{1-0.89155B} a_t + 1886.2$
B4	$G = \frac{4.8136}{1-0.118B} S_t + \frac{1+0.29B-0.45B^2-0.35B^3+0.18B^4-0.19B^5-0.29B^6}{1-0.892B} a_t + 1896.4$
B5	$G = \frac{-0.72847}{1-1.006B} S_t + \frac{1+1.18B+1.1B^2+0.921B^3+1.17B^4+0.73B^5}{1-0.4464B} a_t + 1959.6$
B9	$G = \frac{-0.37085}{1-1.1351B} S_t + \frac{1+0.55925B}{1-0.99907B} a_t + 1899.2$
B13	-
C1	無

對 B5 滑動土體而言，其集水井施工約 1 個月，排水工程對地下水位之影響相當顯著。在集水井施工前，曾有小幅度水位下降，這是因為它區集水井施工的影響。完整的介入模式如表 1 所示，而集水井對地下水位之影響呈現一階衰退之下降型態，長期地下水位下降約 10 公尺。

由介入分析之結果得知，各滑動土體自集水井施工後，現地水文地質已經有所改變，要了解降雨及地下水位之轉換函數關係時，應以排水工程施工後之現地監測資料為轉換函數分析之依據來加以考量。

四、結語

雨量與水位、地表變位與傾斜之間關係的彙整能提供很多研判之用，應持續做第一優先整理之項目，最好能即時列出，可提供作緊急的研判與比對之用，孔內傾斜觀測部份，仍有許多不確定性，包括資料是否有意義，感測器不穩定等問題，僅能作參考與長期的檢討。

整體邊坡穩定性看來 A、B 滑動區在觀測期間顯示相對穩定，唯 B11 至 B13 仍有較明顯的滑動現象，C 區的排水仍尚未完全控制地下水的程度，仍需加強治理工作的進行。整體而言，應評估後續治理工作的需求。

參考文獻

- [1] 中華顧問工程司 (1987):「八十四年度梨山地區地層滑動整治計畫設計調查委託技術服務工作—工作報告」, 行政院農委會水土保持局第二工程所研究報告。
- [2] 中華水土保持學會 (2001):「梨山地滑地區管理準則訂定—(一、二、三、四)報告」, 行政院農委會水土保持局第二工程所研究報告。
- [3] 陳志忠 (1999):「地滑地排水設施成效檢定方法研究」, 碩士論文, 國立中興大學土木工程研究所, 臺中。
- [4] Adamowski, K. (1983): “A Stochastic Systems Model of Groundwater Level Fluctuation”, *Journal of Hydrology*, No.62, pp.129-141.
- [5] Box, and Jenkins (1994): *Time Series Analysis Forecasting and Control*, Prentice-hall Inc.
- [6] Maidment, D.R., and S.P. Miaou (1985): “Transfer Function Models of Daily Urban Water Use”, *Water Resources Res.*, Vol.21, No.4, pp.425-432.
- [7] 葉小蓁 (1999): *時間序列分析與應用*, 台北。

Abstract

In the past, it happened to large-scale sliding in Li-Shan area. The geology of Li-Shan area is composed of colluvium and broken slate. Master slideland is divided from west, southeast and northeast areas. Slideland is formed to angle and hoof shape, and it is near or more hundred meters in width and length, and 30-60 meter in depth under ground. Because the crack of upper slideland is evident and colluvium is permeable easily, the groundwater mostly cause from the upper layer of slope. The slideland movement is closely related to the rainfall and groundwater. Infiltration of rain water is a percolation from surface and wild crack is concluded as the main factor influence the stability of slideland. Now engineering operation is used by surface drainage, horizontal drainage pipes, drained wells, drainage tunnel. It is estimated for effect and modified method, and proposed to form the criterion of slodeland management.

Key Words: Li Shan, Landslide, Engineering Operation